

УДК 544.3

**Е. И. Корзунова, В. А. Шарапова\*, О. В. Пименова**

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

\*kaf.mv@mail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук М. А. Филиппов

## ТЕХНИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЕЙ К ДЕФОРМАЦИОННОМУ УПРОЧНЕНИЮ

Предложен простой инженерный критерий оценки способности металлов и сплавов к деформационному упрочнению путем определения прироста твердости при измерении твердости по Роквеллу на дне лунки от шарообразного индентора, полученного на приборе Бринелля. На примере экспериментального применения «метода двух твердомеров» показано различие в способности к наклепу двух аустенитных марганцевых сталей. Метод позволяет оценить способность материалов к наклепу без изготовления специальных образцов и использования деформирующего оборудования.

*Ключевые слова:* метод оценки, способность к наклепу, твердость по Бринеллю и Роквеллу

**E. I. Korzunova, V. A. Sharapova, O. V. Pimenova**

## TECHNICAL CRITERION OF THE STEELS ABILITY TO STRAIN HARDENING

A simple engineering criterion is proposed for assessing the ability of metals and alloys to strain hardening by determining the increase in hardness when measuring Rockwell hardness at the bottom of a hole from a spherical indenter obtained on a Brinell device. On the example of the experimental application of the “method of two hardness testers”, the difference in the hardening ability of two austenitic manganese steels is shown. The method allows you to assess the ability of materials to harden without the manufacture of special samples and the use of deforming equipment.

*Key words:* evaluation method, hardenability, Brinell and Rockwell hardness

Не существует методически простого инженерного критерия оценки способности металла к наклепу без изготовления специальных образцов и использования специального деформирующего

оборудования. Тем не менее, последовательное применение двух стандартных приборов для измерения твердости по Бринеллю и Роквеллу позволяет в первом приближении относительно просто решить задачу оценки способности металла или сплава к деформационному наклепу.

Цель работы состояла в описании инженерного критерия оценки способности металлов и сплавов к деформационному упрочнению на примере использования метода двух твердомеров для сравнительной оценки к наклепу износостойких сталей на основе стабильного высокомарганцевого аустенита — 110Г13Л и метастабильной аустенитной хромомарганцевой стали — 60Г9Х4Л, механизмы деформационного упрочнения в которых хорошо изучены [1].

Половинки стандартных ударных образцов сталей 110Г13Л (1,25 % С, 12,55 % Мн, 0,2 % Cr, 0,055 % Р, 0,03 % S) и 60Г9Х4Л (0,63 % С, 9,45 % Мн, 3,92 % Cr, 0,042 % Р, 0,035 % S) после закалки в воду от 1050 °С стали 110Г13Л и от 1120 °С — стали 60Г9Х4Л имели полностью аустенитную структуру (температура Мн составляла < –196 °С для стали 110Г13Л и –40 °С стали 60Г9Х4Л, температура Мд для этой стали — 150–170 °С). Шлифованную боковую поверхность образцов использовали для нанесения отпечатков на прессе Бринелля шариком диаметром 10 мм при нагрузках 500, 1000, 2000 и 3000 кг и при тех же нагрузках шариком диаметром 5 мм. После этого на приборе Роквелла алмазным индентором при стандартной нагрузке 150 кг производили измерение твердости в центре дна лунок отпечатков, образовавшихся от внедрения шарообразных инденторов на прессе Бринелля. Отклонение от центра дна отпечатков составляло  $\pm 0,5$  мм. На дне каждого отпечатка проводили только одно измерение твердости по Роквеллу.

Способность к упрочнению сталей оценивали по разности значений твердости между деформированным образцом (на дне отпечатка на прессе Бринелля) и исходной твердости металла этого образца  $\Delta HRC = HRC_{\text{деф}} - HRC_0$ . График твердости по Роквеллу на дне отпечатков, полученных от шариков диаметром 10 мм и 5 мм на прессе Бринелля, представлен в зависимости от нагрузки на индентор для сталей 110Г13Л и 60 Г9Х4Л на рис., из которого видно, что кривые для обеих сталей и диаметров шариков имеют возрастающую зависимость от степени пластической деформации подобно кривым упрочнения при пластической деформации сжатием, что указывает на увеличение степени деформации на дне отпечатков по мере увеличения нагрузки на индентор [2; 3].

Характерно при этом, что отпечатки при всех нагрузках на образцах стали 60Г9Х4Л обнаруживают ферромагнитность при измерении ферритометром, в то время как аналогичные отпечатки на образцах стали 110Г13Л немагнитны. Этот факт однозначно указывает на появление  $\alpha$ -мартенсита при вдавливании шарообразных инденторов в поверхность метастабильной аустенитной стали 60Г9Х4Л, в которой превращение идет при нагружении по схеме  $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$  [1] и на стабильность аустенита стали 110Г13Л при нагружении.

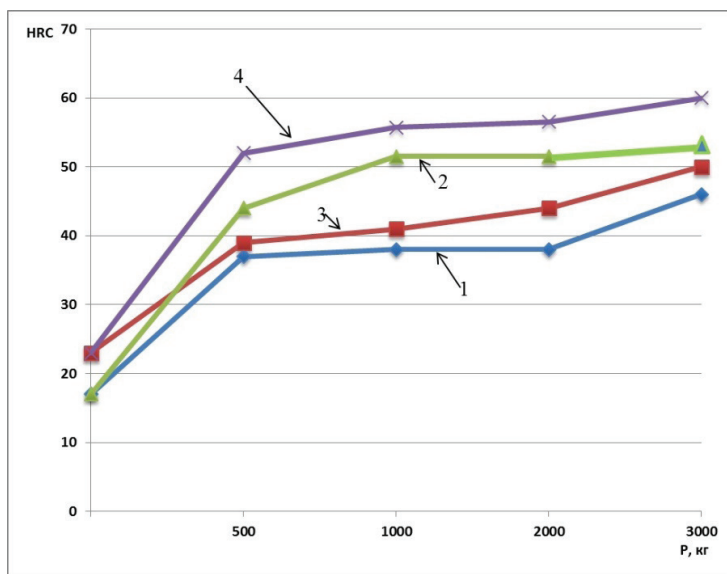


Рис. Зависимость твердости сталей 110Г13Л (1, 2) и 60Г9Х4Л (3, 4) от нагрузки на шарик диаметром 10 мм (1, 3) и 5 мм (2, 4)

В результате критерий упрочнения,  $\Delta HRC$ , после измерения твердости на дне отпечатка с нагрузкой 3000 кг для стали 110 Г13 Л составляет  $\Delta HRC = 46 - 18 = 26$ , а для стали 60Г9Х4Л —  $\Delta HRC = 60 - 22 = 38$ , Это сравнительно небольшое преимущество в упрочнении МАС 60Г9Х4Л, как и при средних степенях деформации при сжатии, можно объяснить ее метастабильностью и развитием  $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$  — превращения, т. к. содержание углерода в ней в твердом растворе вдвое меньше, чем у стали 110Г13Л.

Таким образом, использование предлагаемого технически простого критерия оценки способности стали к деформационному упрочнению путем определения прироста твердости при измерении по Рок-

веллу на дне лунки от шарообразного индентора прибора Бринелля позволяет объективно оценить способность металла к наклепу и без изготовления специальных образцов выбрать требуемые параметры деформационного упрочнения стали.

### **Литература**

1. Филиппов М. А., Литвинов В. С., Немировский Ю. Р. Стали с метастабильным аустенитом. М. : Metallurgy, 1988. 257 с.
2. Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. М. : Metallurgy, 1983. 352 с.
3. Испытания металлов на износостойкость при трении / Л. Г. Коршунов [и др.] // В кн. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali. М. : Metallurgy, 1991. Т. 1. С. 387—413.